

# 宿泊可能点を考慮した巡回観光旅行計画問題 —北海道自転車旅行—

望月 宏史 (沼田 一道 教授 , 松浦 隆文 助教)

## 1. はじめに

### 1.1 本研究の背景

我々が休暇を楽しむための手段の一つとして観光旅行がある。観光旅行とは文字通り、観光地を訪れ楽しむ目的の旅行である。近年では移動手段が増えたことにより、様々な観光旅行の形が存在するが、ここでは自転車を移動手段とした観光旅行に注目する。筆者は2007年夏に北海道にて自転車を移動手段とする観光旅行を体験した。観光旅行においては、訪れる観光地までの経路を自分で調べることが重要である。旅行者が自分にとって魅力のある観光地点をできるだけ多く周り、できるだけ大きな満足を得るためには、訪問する観光地点をうまく選び、それらを回る順番を決める必要がある。

### 1.2 本研究の目的

本研究では、旅行者が自転車を利用する観光旅行において、観光地を訪れることによって得られる総魅力値をできるだけ大きくすることを目的とする。具体的には旅行者の満足度合いを最大化する数理計画問題として定式化し、巡回観光計画を作成する。

## 2. 問題の概要

自身が体験した北海道自転車旅行をモデル化する。旅行者は出発点(苫小牧)から出発し、異なる場所での宿泊を繰り返しながら複数の観光地を訪問して到達点(苫小牧)へと移動する。旅行者の体力を考慮して、1日に移動できる距離に制限を設ける。観光地点には宿泊が可能な宿泊可能地点、宿泊が不可能な通過点が存在するものとする。各観光地には、観光することによって得られる期待満足度(以下魅力値と呼ぶ)が対応付けられており、そこに宿泊、または通過することによって旅行者はその観光地点の魅力値を得るものとする。ただし、出発点(到達点)は宿泊可能とし、各観光地点に訪問できる回数は1回以下であるとする。旅行者は獲得できる魅力値の合計が最大となるように、宿泊可能地点と通過点の移動を繰り返す巡回経路を決定する。これが本研究で扱う問題である。

## 3. 定式化

<データ>

データを以下のように定義する。観光地点の集合を  $V = \{1, 2, \dots, n\}$ 、宿泊可能地点の集合を  $S = \{1, 2, \dots, m\}$ 、通過点の集合を  $T = \{m+1, m+2, \dots, n\}$  とし、観光地点  $i \in V$  には固有の魅力値  $P_i$  を与える。  $V = S \cup T$ ,  $S \cap T = \phi$  であり、 $S$  の要素番号 1 は出発点である苫小牧とする。旅行計画の日数を  $D$  とし、1日の移動制限距離を  $L$  とする。観光地点  $i$  と観光地点  $j$  の間の移動距離を  $d_{ij}$  とする。また  $a_{kl}$  は

宿泊可能地点  $k$  から宿泊可能地点  $l$  へ1日行程で移動が可能である(1)か、不可能である(0)か、を表す。

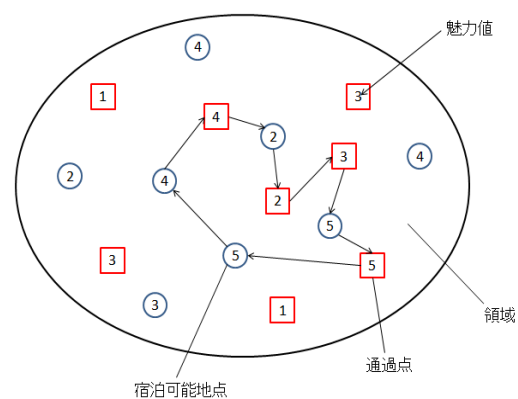


図1：観光旅行の巡回経路例

<決定変数>

決定変数を以下のように定義する． $u_k$  を，宿泊可能地点 $k$ に宿泊するとき1，宿泊しないとき0とする． $w_{kl}$  を，宿泊可能地点 $k$ で宿泊した後，次に宿泊可能地点 $l$ で宿泊するとき1，宿泊しないとき0とする． $y_{ikl}$  を，宿泊可能地点 $k$ の次に宿泊可能地点 $l$ で宿泊し，かつその間で通過点 $i$ を訪問するとき1，訪問しないとき0とする． $x_{ijkl}$  を，宿泊可能地点 $k$ の次に宿泊可能地点 $l$ で宿泊し，かつその間で通過点 $i$ から通過点 $j$ への移動があるとき1，移動がないとき0とする．

以上の記号を用いると，「巡回観光旅行計画問題」は次のように定式化される．

$$\max \sum_{i \in T} \sum_{k \in S} \sum_{l \in S - \{k\}} (P_i u_k + P_i y_{ikl}) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } u_1 = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{k \in S} u_k = D \quad (3)$$

$$w_{kl} \leq a_{kl} \quad (\forall k, l (\neq k) \in S) \quad (4)$$

$$\sum_{l \in S - \{k\}} w_{kl} = \sum_{l \in S - \{k\}} w_{lk} = u_k \quad (\forall k \in S) \quad (5)$$

$$y_{ikl} \leq w_{kl} \quad (\forall i \in T) \quad (6)$$

$$\sum_{j \in T(l)} x_{ijkl} = \begin{cases} y_{ikl} & (i \in T) \\ w_{kl} & (i = k) \end{cases} \quad (7)$$

$$\sum_{i \in T(k)} x_{ijkl} = \begin{cases} y_{jkl} & (j \in T) \\ w_{kl} & (j = l) \end{cases} \quad (8)$$

$$\sum_{i \in T(k)} \sum_{j \in T(l) - \{i\}} d_{ij} x_{ijkl} \leq L \quad (9)$$

$$(T(k) = \{k\} \cup T, T(l) = \{l\} \cap T)$$

$$\sum_{k \in A} \sum_{l \in A - \{k\}} w_{kl} \leq |A| - 1 \quad (10)$$

$$(\forall A \subset S, 2 \leq |A| \leq D - 1) (\forall k, l (\neq k) \in S)$$

$$\sum_{i \in B} \sum_{j \in B (\neq i)} x_{ijkl} \leq |B| - 1 \quad (\forall B \subset T, 2 \leq |B|) \quad (11)$$

$$u_k, w_{kl}, y_{ikl} \in \{0, 1\} \quad (k, l \in S, i \in T) \quad (12)$$

$$x_{ijkl} \in \{0, 1\} \quad (i \in T(k), j \in T(l), k, l \in S) \quad (13)$$

(1)式の目的関数は，旅行者が訪れる宿泊可能地点の魅力値と通過点の魅力値の総和であり，(2)～(13)式の制約条件のもとでこれを最大化する．(2)式は出発点には必ず訪問するというを表している．(3)式は旅行計画の日数分の宿泊をするを表している．(4)式は1日行程で移動可能な宿泊可能地点に宿泊するというを表している．(5)式は宿泊可能地点 $k$ で宿泊するならば，ある1つの宿泊可能地点 $l$ から $k$ へ入っていき， $k$ からある1つの宿泊可能地点 $l$ へと出ていくというを表している．(6)式は宿泊可能地点 $k$ を宿泊した次に宿泊可能地点 $l$ に宿泊をしないのであれば， $k$ から $l$ の移動の間で通過点 $i$ を通ることがないことを表している．(7)式は全ての観光地点は，前に必ずどこかの観光地点から移動してきているというを表している．(8)式は全ての観光地点は，次に必ずどこかの観光地点へと移動するというを表している．(9)式は1日の移動距離の総和が1日の移動制限距離を超えてはならないというを表している．(10)，(11)式は部分巡回路を禁止している．

#### 4. 解法手順

提案する解法は，以下の手順からなる．

手順1：宿泊可能地点の集合 $S$ から宿泊日数分の宿泊地点を選び，各要素間が1日行程で移動可能である巡回経路を作る．この巡回経路は①：移動距離が最小となるもの[no.1]，②：得ら

れる魅力値が最大となるもの[no.2], ③: 得られる魅力値を②で求めた値に固定して移動距離を最小とするもの[no.3], の3つを作成する.

手順2: 手順1で作成した3つの巡回経路に対して, それぞれ宿泊地点 $k$ と, その次の宿泊地点 $l$ の間に通過点 $i$ を挿入する. 挿入候補の通過点は宿泊地点 $k, l$ から移動可能なもののみを考える. 宿泊地点 $k$ と通過点 $i$ , 宿泊地点 $l$ と通過点 $i$ の距離を合算し, その値が最小となる通過点を挿入する.

手順3: 宿泊日数分の宿泊地点間に対して, 手順2を繰り返す.

以上の手順で得られる3つの巡回経路の総魅力値を算出し, 最大の魅力値を与える巡回経路を最終的な近似最適解とする.

## 5. 数値実験

### 5.1 実験概要

移動可能範囲を北海道全域として実験を行う. 手順1の巡回経路は, 汎用ソルバーの `gurobi` を用いて求め, 手順2, 3のプログラムは `Borland` 社の `Delphi6` で実装した.

### 5.2 状況設定

対象とする観光地点数は出発点である苫小牧を含む50地点とし, そのうち20地点を宿泊可能地点, 30地点を通過点とする. 旅行計画日数を14泊15日とし, 1日の移動制限距離は160kmとする. 各観光地点には1~5点の魅力値を与えた. なお出発点である苫小牧を除く49の観光地点について, 同一の観光地点を2度以上訪問することはない. また宿泊可能地点を通過点として訪問することはなく, 宿泊可能地点を訪問する限りは, その宿泊可能地点にて宿泊するものとする. また観光地点のうちの, ある2地点間の移動経路はただ一通りしか存在しないものとする.

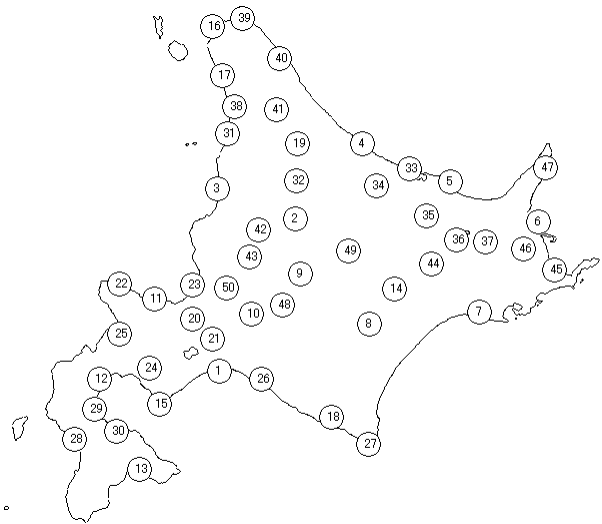


図2: 全観光地点表示

表1: 実験結果

### 5.3 実験結果・考察

3つの巡回経路を作成した結果, 総移動距離と総魅力値と巡回経路は次の通りになった. [no.1]は宿泊地点間の移動距離が最小となる巡回経路に対して通過点の挿入を行ったもの, [no.2]は宿泊地点間の移動によって得られる魅力値が最大となる巡回経路に対して通過点の挿入を行ったもの, [no.3]は宿泊地点間の移動によって得られる魅力値を[no.2]の値で固定して, 宿泊地点間の移動距離が最小となる巡回経路に対して通過点の挿入を行ったものである. 総魅力値を比較すると, [no.3], [no.1], [no.2]の順となった. 従って提案解法が与える解は[no.3]である. 3つの巡回経路の土台になった, 宿泊地点間のみ移動によって得られる巡回経路の魅力値は表2の通りである.

|        | 総移動距離(km) | 総魅力値 |
|--------|-----------|------|
| [no.1] | 1356.4    | 69   |
| [no.2] | 1602.9    | 67   |
| [no.3] | 1476.8    | 72   |

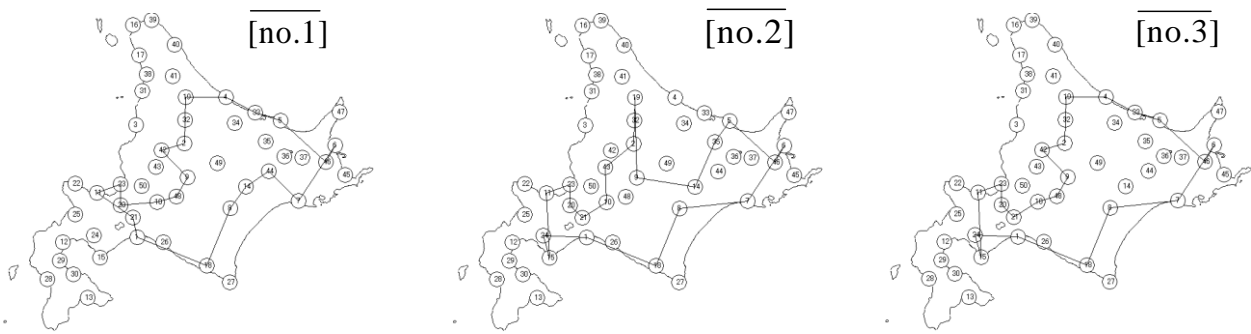


図 3：実験結果の巡回経路

表 2 を見ると、総移動距離が最小となるように作成した [no.1] と総魅力値が最大となるように作成した [no.2] とでは総魅力値の差が 1 しかない。つまり宿泊地点間でできるだけ大きい総魅力値を得ようとするよりも、宿泊地点間の移動をできるだけ短くして、通過点をできるだけ多く挿入することによって総魅力値を得ようとする方が解が良いことがわかる。だがそれでも総魅力値を最大値に固定して宿泊地点間の移動距離を最小になるように作成した [no.3] を土台とした [no.3] の総魅力値が最も大きいため、移動距離だけではなく魅力値の考慮も無視できない。図 3 の巡回経路を見比べてみると、3 つとも似た外形となっている。これは移動手段が自転車であるため、1 日に移動可能な観光地点が少ないことによって選ばれる宿泊地点がおおよそ決まってしまう、それにより挿入する通過点も似てしまうことによるものだと考えられる。また特徴としては函館近辺の道南、稚内付近の道北エリアを含んでおらず、道東から道央、道西に広がっている。これは道南、道北エリアを通過しようとするとき大きな魅力値を得られるが移動距離がとても大きくなるため、複数の観光地点を訪問することができなくなるのに対し、道央エリア近辺での巡回を行った方が移動距離が小さいので複数の観光地点を訪問することができ、総じてより大きい魅力値を得ることができるためだと考えられる。また、本研究では観光地点の魅力値を 1～5 点で設定したが、魅力値の幅をより大きく設定することで、巡回経路図の外形も変化することが考えられる。

表 2：宿泊地点のみの結果

|      | 総移動距離(km) | 総魅力値 |
|------|-----------|------|
| no.1 | 1253.3    | 48   |
| no.2 | 1476.8    | 49   |
| no.3 | 1304.1    | 49   |

## 6. まとめと今後の課題

本研究では旅行者が自転車を利用する観光旅行において、観光地を訪れることによって得られる魅力値を最大化する問題を考え、その巡回経路を求めた。提案解法のように、宿泊地点の巡回経路を土台として求める場合には、魅力値を考慮しながら総移動距離ができるだけ小さくなるもの選ぶと良いことがわかった。また移動手段が自転車であるために、1 日行程で移動可能な観光地点が限定され、考えうる巡回経路が類似してしまうことがわかった。

本研究では高低差を考えない道のりのデータを用いて数値実験を行ったが、自転車の障害である坂の勾配や天候、また魅力値のばらつきを大きくすることによる再実験も必要である。これらは今後の課題としたい。

## 7. 参考文献

- [1] 掌田 津耶子：Delphi パーソナルプログラミング，毎日コミュニケーションズ(2002)
- [2] Google map：<http://maps.google.co.jp/maps?hl=ja&tab=w1>（最終閲覧日：2010/12/24）
- [3] gurobi：<http://www.gurobi.com/>（最終閲覧日：2010/12/24）